

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
11. März 2004 (11.03.2004)

PCT

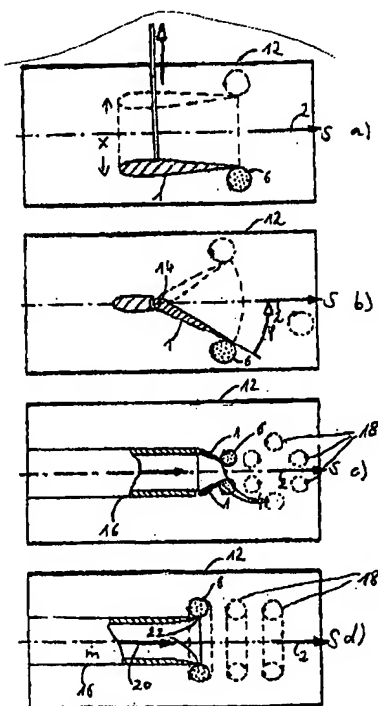
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2004/020841 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation⁷: F15D 1/02, F01D 5/14, B01F 5/06
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2003/002721
- (22) Internationales Anmeldedatum:
12. August 2003 (12.08.2003)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
102 37 341.8 14. August 2002 (14.08.2002) DE
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).
- (72) Erfinder; und
- (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): LIEBE, Roland [DE/DE]; Frohnkamp 22 / Gartenhaus, 40789 Monheim (DE). LIEBE, Wolfgang [DE/DE]; Im Eichengrund 25, 13629 Berlin (DE).
- (74) Gemeinsamer Vertreter: SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT; Postfach 22 16 34, 80506 München (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (national): CN, JP, US.
- (84) Bestimmungsstaaten (regional): europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).
- Veröffentlicht:
— mit internationalem Recherchenbericht

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: DEVICE FOR THE GENERATION OF EDDIES AND METHOD FOR OPERATION OF SAID DEVICE

(54) Bezeichnung: VORRICHTUNG ZUM ERZEUGEN VON WIRBELN SOWIE VERFAHREN ZUM BETREIBEN DER VORRICHTUNG



(57) Abstract: According to the invention, a device for the generation of eddies creates or destroys eddies in a flowing medium (S) in a particularly simple manner, with particularly low energy requirement with the lowest possible pressure drop, whereby the device comprises one or more profiles (1), for the flowing medium (S) to flow around, which are provided with an external drive for a periodic movement relative to the flowing medium (S) with an angular frequency ω . The profiles (1) are thus periodically displaced with an angular frequency ω by an external drive.

(57) Zusammenfassung: Eine Vorrichtung zur Erzeugung von Wirbeln soll auf besonders einfache Weise und mit besonders geringen Energieaufwand bei möglichst geringem Druckabfall in einem Strömungsmedium (S) Wirbel erzeugen oder vernichten. Dazu umfasst die Vorrichtung ein oder mehrere Profile (1), die zur Umströmung des Strömungsmediums (S) vorgesehen sind und die für eine periodische Bewegung relativ zum Strömungsmedium (S) mit einer Kreisfrequenz ω mit einem äusseren Antrieb versehen sind. Dazu werden die Profile (1) durch einen äusseren Antrieb periodisch mit der Kreisfrequenz ω bewegt.

WO 2004/020841 A1

WO 2004/020841 A1



Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

Beschreibung

Vorrichtung zum Erzeugen von Wirbeln sowie Verfahren zum Betreiben der Vorrichtung

5

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Erzeugung und/oder Vernichtung von Wirbeln in einem Strömungsmedium, die ein oder mehrere in einem Strömungskanal angeordnete, zur Umströmung mit dem Strömungsmedium vorgesehene Profile umfasst. Sie betrifft weiter ein zum Betreiben der Vorrichtung besonders geeignetes Verfahren.

10

Die gezielte Erzeugung oder Vernichtung von Wirbeln spielt in vielen strömungstechnischen Anwendungen eine wichtige Rolle. Da Wirbel Rotationsenergie enthalten und somit sowohl Energie aufnehmen als auch abgeben können, können sie zur gezielten Übertragung von Energie von einem umströmten Profil auf das Strömungsmedium oder in eine Grenzschicht beziehungsweise zum Austausch von Energie, insbesondere auch Wärme, oder Stoffen zwischen verschiedenen Bereichen einer Strömung eingesetzt werden.

15

20

Für den effizienten Transport eines Strömungsmediums werden beispielsweise Systeme aus ruhenden Wirbelerzeugern eingesetzt, die durch die Erzeugung von Wirbeln Energie auf das Strömungsmedium übertragen. Dabei ist es wünschenswert, den Druckverlust, den das Strömungsmedium entlang des Systems aus Wirbelerzeugern erfährt, möglichst gering zu halten. Insbesondere soll der mittlere Massenstrom bezogen auf den Druckverlust möglichst groß sein.

25

30

Durch den Einsatz von Wirbelerzeugern im Strömungskanal lassen sich einem Strömungsmedium auch Geschwindigkeitsschwankungen aufprägen. Solche Geschwindigkeitsschwankungen, die beispielsweise durch an Wirbelerzeugern entstehende Schockwellen erzeugt werden, erhöhen sowohl den Wärme- als auch den Stoffaustausch im Strömungsmedium quer zur Strömungsrichtung

35

erheblich. Durch die gezielte Anbringung von Wirbelerzeugern im Strömungskanal kann somit eine verstärkte Kühlwirkung der Strömung auf thermisch besonders belastete Bauteile erzielt werden. Dabei sollten die Wirbelerzeuger derart positioniert
5 und dimensioniert sein, dass der auf den Druckverlust, den das Strömungsmedium entlang des Systems aus Wirbelerzeugern erfährt, bezogene Wärmeübergangskoeffizient möglichst groß ist. Auf diese Weise lässt sich beispielsweise durch den Einsatz des Systems aus Wirbelerzeugern in einer Gasturbine so-
10 wohl im Bereich der Brennkammer als auch im Bereich der Turbinenschaufeln Kühlluft einsparen und somit bei gleichzeitiger Erhöhung des Wirkungsgrades der Gasturbine ihre NO_x -Emissionen senken.

15 Der verstärkte Stoffaustausch quer zur Strömungsrichtung in einem Strömungsmedium mit Geschwindigkeitsschwankungen kann zur verstärkten Mischung des Strömungsmediums genutzt werden. Beispielsweise kann durch die besonders gründliche Mischung von Brenngas und Luft in einer Gasturbinenanlage eine voll-
20 ständige Verbrennung des Brenngases erreicht und somit ihre NO_x -Emissionen gesenkt werden.

Die Vielfalt der technischen Anwendungen von Wirbelerzeugern oder -vernichtern bedingt ein großes Interesse an der theore-
25 tischen Berechnung der Entstehung und Entwicklung von Wirbeln. Sie sind insbesondere notwendig, um Form und Positionierung von Wirbelerzeugern und -vernichtern im Hinblick auf ihre Wirkung auf ein Strömungsmedium optimal zu gestalten. Die Berechnung turbulenter Strömungen erfolgt üblicherweise
30 entweder explizit über die Lösung der Navier-Stokes-Gleichung des Problems, eine Verfahrensweise, die aber vor allem bei dreidimensionalen Anwendungen zu komplex und zu aufwendig ist, oder aber über entsprechende Modelle der klassischen Tragflügeltheorie.

35

Im Rahmen der klassischen Tragflügeltheorie lassen sich zwar turbulente Strömungen an starren, also passiv umströmten und

nicht beschleunigten, Bauteilen beschreiben. Allerdings versagt die klassische Tragflügeltheorie bei aktiven, also beschleunigt bewegten Bauteilen. Sie setzt nämlich die glatte Abströmung des Strömungsmediums an der Hinterkante des umströmten Profils, die so genannte Kutta-Bedingung, voraus, sowie eine endliche Anströmgeschwindigkeit und eine quasistatische, lineare Behandlung. Ein Ablösen der Strömung von dem umströmten Profil und ein Aufrollen von entstehenden Wirbeln, wie es bei instationären Strömungsvorgängen an beschleunigt bewegten Profilen geschieht, kann im Rahmen der Theorie nicht behandelt werden. Bei technischen Anwendungen werden daher üblicherweise passiv umströmte Wirbelerzeuger eingesetzt, die sich mittels der klassischen Aerodynamik beschreiben lassen. Passiv umströmte Wirbelerzeuger weisen allerdings vergleichsweise hohe dynamische Widerstände auf. Werden sie in einem Strömungskanal platziert, so resultiert daher ein unerwünscht großer Druckabfall im Strömungsmedium.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, eine Vorrichtung zur Erzeugung von Wirbeln in einem Strömungsmedium der oben genannten Art anzugeben, mit der auf besonders einfache Weise und mit besonders geringem Energieaufwand bei möglichst geringem Druckabfall in einem Strömungsmedium Wirbel erzeugt werden können. Des Weiteren soll ein zum Betreiben der Vorrichtung besonders geeignetes Verfahren angegeben werden.

Bezüglich der Vorrichtung wird diese Aufgabe erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass die Vorrichtung ein oder mehrere in einem Strömungskanal angeordnete, zur Umströmung mit dem Strömungsmedium vorgesehene Profile umfasst, wobei die Profile für eine periodische Bewegung relativ zum Strömungsmedium mit einer Kreisfrequenz ω mit einem mechanischen, elektromagnetischen oder elektro-hydraulischen Antrieb versehen sind.

Als „Profile“ können dabei beliebige, geeignet dimensionierte und konturierte Einbauten im Strömungskanal vorgesehen sein, die insbesondere hinsichtlich ihrer Formgebung an die ausle-

gungsbedingt im Strömungskanal erwarteten Strömungsverhältnisse angepasst sind.

Die Erfindung geht dabei von der Überlegung aus, dass für eine hohe Effizienz des Wirbelerzeugers der mittlere Durchsatz an Strömungsmedium bezogen auf dessen Druckverlust entlang des Strömungskanals möglichst groß sein sollte. Um den Druckverlust gering zu halten, sollte die Übertragung von Energie vom Wirbelerzeuger auf das Strömungsmedium konsequent verbessert werden. Eine bessere Übertragung von Energie kann dadurch erreicht werden, dass der Energieinhalt des erzeugten Wirbels vergrößert wird. Wie sich herausgestellt hat, lassen sich mit aktiven, also beschleunigten, Wirbelerzeugern sowohl in laminaren als auch in turbulenten Strömungen höhere Energieinhalte dadurch erzielen, dass der Wirbel vor seiner Ablösung von dem Profil des Wirbelerzeugers beschleunigt wird. Daher sollten Wirbelerzeuger für eine besonders hohe Effizienz relativ zum Strömungskanal beschleunigt bewegt werden. Eine gleichmäßige Wirbelerzeugung, die diesen Anforderungen gerecht wird, lässt sich dabei auf besonders einfache Weise durch eine periodische Bewegung des Wirbelerzeugers erreichen.

Um die Vorgänge an periodisch bewegten Wirbelerzeugern zu verstehen, lässt sich die Erkenntnis nutzen, dass ein von einem solchen Wirbelerzeuger erzeugter und sich ablösender Wirbel gut durch einen räumlich begrenzten Wirbel mit einem starren Kern beschrieben werden kann, einen so genannten „Finiten Kantenwirbel“. Ein solcher Wirbel wird unmittelbar nach seiner Bildung an der Hinterkante des umströmten Profils durch auf sein Zentrum zuströmendes Strömungsmedium bis zu seinem im Weiteren zeitlichen Verlauf als konstant angenommen Radius a aufgefüllt. Dadurch wird der Wirbel in Rotation versetzt und seine Rotationsgeschwindigkeit nimmt während der anschließenden „Haftungsphase“ weiter zu. Dabei erfährt der Wirbel eine Netto-Durchströmung mit Strömungsmedium und die Komponente der Strömung aus der Richtung der Profilhinterkan-

te nimmt bis zu einem maximalen Wert zu. Der Wirbel haftet, nachdem er seine stabile Größe erreicht hat, solange an dem Profil, bis dieser maximale Wert erreicht ist, und löst sich dann ab.

5

Während der Wirbel noch am Profil haftet, induziert seine Rotation eine Tangentialströmung entlang der Profiloberfläche, die so genannte „Mantelströmung“. Die aerodynamische Wechselwirkung der Mantelströmung mit der Anströmung des Strömungsmediums auf das Profil erzeugt ein orthogonales Kräftepaar, den Vortrieb und den Widerstand. Je nachdem, welche der beiden Kräfte dominiert, ändert sich der Charakter der Wechselwirkung zwischen Strömungsmedium und Profil. So ist beispielsweise bei einer Bewegung des Profils mit einer vergleichsweise hohen Frequenz der Vortriebscharakter der Wechselwirkung dominierend und es wird Energie vom Wirbelerzeuger auf das Strömungsmedium übertragen, während bei einer Bewegung mit niedriger Frequenz der Widerstandscharakter dominiert und Energie vom Strömungsmedium auf den Wirbelerzeuger übergeht.

Diese Erkenntnisse im Rahmen des so genannten „Finiten Kantenwirbel Modells“ werden bei der Verwendung neuer Kenngrößen genutzt. Als Kenngröße, die den Vortriebs- bzw. Widerstandscharakter der Strömung beschreibt, eignet sich das Verhältnis der über eine Bewegungsperiode des Profils gemittelten Strömungsgeschwindigkeit bezogen auf den mittleren Querschnitt des Profils zu der maximalen Strömungsgeschwindigkeit an der Profilhinterkante. Liegt diese Größe $f := v_m / v_{\max}$ zwischen 0,2 und 0,5, so weist die Strömung Vortriebscharakter auf. Ist f dagegen größer als 0,5, so weist sie Widerstandscharakter auf.

Als weitere wichtige Kenngrößen lassen sich die Reynoldszahl der maximalen Kantenumströmung, die reduzierte Frequenz und die Strouhal-Zahl verwenden. Die Reynoldszahl der maximalen Kantenumströmung ist dabei als Produkt aus maximaler Strömungsgeschwindigkeit und Profilhöhe definiert.

5 mungsgeschwindigkeit an der Profilhinterkante und Längenaus-
dehnung des umströmten Profils geteilt durch die kinematische
Viskosität des Strömungsmediums definiert, die reduzierte
Frequenz als Produkt aus Kreisfrequenz der periodischen Bewe-
10 gung und Längenausdehnung des umströmten Profils geteilt
durch die über eine Bewegungsperiode des Profils gemittelte
Strömungsgeschwindigkeit bezogen auf den mittleren Quer-
schnitt des Profils und die Strouhal-Zahl als Frequenz der
periodischen Bewegung und Längenausdehnung des umströmten
15 Profils geteilt durch die über eine Bewegungsperiode des Pro-
fils gemittelte Strömungsgeschwindigkeit bezogen auf den
mittleren Querschnitt des Profils. Die genannten Kenngrößen
werden anstelle der in der klassischen Aerodynamik verwen-
deten externen, konstanten Profil-Anströmgeschwindigkeit ver-
20 wendet und lassen eine wesentlich differenziertere und reali-
stischere Charakterisierung der resultierenden Strömung zu.

Vorteilhafterweise sind die Form, Anzahl und Größe der Profi-
le derart gewählt, dass im Betriebsfall des Wirbelerzeugers
25 der Quotient aus der über eine Bewegungsperiode des Profils
gemittelten Strömungsgeschwindigkeit bezogen auf den mittlere-
ren Querschnitt des Profils zu der maximalen Strömungsge-
schwindigkeit an der Profilhinterkante einen vorgegebenen
Wert aufweist. Insbesondere kann dieser Wert so gewählt sein,
30 dass abhängig von der Art der technischen Anwendung eine
Strömung mit Widerstandscharakter oder mit Vortriebscharakter
resultiert.

Abhängig von der zu erfüllenden technischen Aufgabe des Wir-
belerzeugers sind unterschiedliche Arten von periodischen Be-
35 wegungen der Profile denkbar und günstig. Vorteilhafte Grund-
formen von periodischen Bewegungen sind periodische Verschie-
bungen der Profile senkrecht zur Strömungsrichtung des Strö-
mungsmediums, Rotationen der Profile um eine Drehachse senk-
recht zur Strömungsrichtung in der Art einer Verschwenkung um
einen Winkel ϕ , die Rotation von Profilpaaren mit gleicher
Kreisfrequenz ω und gleicher Phase um ihre jeweilige Dreh-

achse, wobei die Drehachsen antiparallel zueinander ausgerichtet sind, und periodische Verschiebungen der Profile parallel zur Strömungsrichtung des Strömungsmediums.

- 5 Zur Verbesserung der Effizienz des Wirbelerzeugers und zu seiner optimalen Anpassung an seine technische Aufgabe führen die Profile gegebenenfalls Kombinationen der genannten Grundformen der periodischen Bewegungen aus. Vorteilhafterweise kann die periodische Bewegung eines Profils insbesondere in
10 einer Kombination aus einer Verschiebung des Profils relativ zum Strömungskanal und einer Rotation des Profils um eine Drehachse bestehen.

- In manchen Anwendungen ist es günstig, einen erzeugten Wirbel
15 wieder zu vernichten, nachdem er eine gewisse Strecke im Strömungskanal zurückgelegt hat. Dies ist beispielsweise der Fall, wenn die Nachlauf-Restenergie des Wirbels möglichst vollständig genutzt werden soll. In einem solchen Fall ist dem Wirbelerzeuger vorteilhafterweise strömungsmediumseitig
20 eine Vorrichtung zur Vernichtung von Wirbeln nachgeschaltet.

- Aufgrund der Tatsache, dass aktive Wirbelerzeuger bei geringer Antriebsleistung in der Lage sind, auf besonders effiziente Weise Energie und Stoffe zu übertragen, können sie in
25 einer Vielzahl von technischen Bereichen zum Einsatz kommen. Bei der Beförderung eines Strömungsmediums durch einen Strömungskanal oder eine Rohrleitung strebt man beispielsweise einen möglichst hohen Massenstrom bei gleichzeitig geringem Druckverlust im Strömungsmedium an. Eine erwünschte Erhöhung
30 der Strömungsgeschwindigkeit des Strömungsmediums bei geringem Druckverlust lässt sich aber gerade mit Hilfe eines aktiven Wirbelerzeugers erzielen. Daher ist im Strömungskanal einer Förderstrecke vorteilhafterweise eine Vorrichtung zur aktiven Erzeugung von Wirbeln angeordnet, die eine Anzahl von
35 Wirbelerzeugern, die eine periodische Bewegung mit gleicher Kreisfrequenz ω und gleicher Phase ausführen, umfasst. Al-

ternativ dazu kann die Phase der Wirbelerzeuger auch entgegengesetzt, also um 180 Grad gegeneinander verschoben, sein.

5 Eine weitere wichtige Anwendung aktiver Wirbelerzeuger ist die Erhöhung der Effizienz von Gitterströmungen. Gitterströmungen werden eingesetzt, um den mittleren Wirkungsgrad eines axialen Gitters bei gleichzeitig möglichst geringem Druckverlust zu maximieren. Dazu werden beispielsweise Leitschaufeln den Laufschaufeln einer Gasturbine strömungsmediumseitig vorgeschaltet. Zur weiteren Erhöhung des Gitterwirkungsgrades wird dem axialen Gitter vorteilhafterweise eine Vorrichtung zur aktiven Erzeugung von Wirbeln strömungsmediumseitig vorgeschaltet, die eine Anzahl von Profilen, die eine periodische Bewegung mit gleicher Kreisfrequenz ω und gleicher Phase ausführen, umfasst. Insbesondere können auf diese Weise periodische Strömungspulse erzeugt werden, die in ihrer Periode und Länge optimal auf die ebenfalls periodische eigentliche Gitterströmung abgestimmt sind. Des Weiteren kann der die Effizienz des Gitters steigernde, theoretisch noch nicht
10 vollständig verstandene so genannte „Clocking-Effekt“ genutzt werden, der zum Tragen kommt, wenn einzelne, relativ zueinander bewegte Gitter miteinander wechselwirken.

25 Einem Strömungsmedium aufgeprägte Geschwindigkeitsschwankungen lassen sich zur besonders effizienten Kühlung thermisch stark belasteter Bauteile nutzen. Solche Geschwindigkeitsschwankungen lassen sich auf besonders effiziente Weise durch aktive Wirbelerzeuger generieren und erhöhen sowohl den Wärme- als auch den Stoffaustausch im Strömungsmedium quer zur Strömungsrichtung erheblich. Durch die gezielte Anbringung von aktiven Wirbelerzeugern im Strömungskanal kann somit eine effiziente Kühlung thermisch besonders belasteter Bauteile erreicht werden. Dazu umfasst eine Kühlvorrichtung vorteilhafterweise einen Strömungskanal, einen durch den Strömungskanal geleiteten Kühlstrom sowie eine innerhalb des Strömungskanals angeordnete Vorrichtung, die zur aktiven Erzeu-
35

gung von Wirbeln ein oder mehrere periodisch bewegte Profile aufweist.

Einem Strömungsmedium aufgeprägte Geschwindigkeitsschwankungen verstärken auch den Stoffaustausch quer zur Strömungsrichtung. Dieser Effekt kann gezielt zur verstärkten Mischung eines Strömungsmediums genutzt werden. Eine besonders hohe Mischgüte bei gleichzeitig niedrigen Druckverlust kann dadurch erzielt werden, dass zur Erzeugung der Geschwindigkeitsschwankungen aktive Wirbelerzeuger eingesetzt werden. Meist ist es wünschenswert, die dem Strömungsmedium durch erzeugte Wirbel aufgeprägten Geschwindigkeitsschwankungen nach abgeschlossener Mischung wieder zu vernichten. Daher umfasst eine Mischstrecke vorteilhafterweise eine Vorrichtung zur aktiven Erzeugung von Wirbeln, der eine Vorrichtung zur Vernichtung von Wirbeln strömungsmediumseitig nachgeschaltet ist.

Mit einem aktiven Wirbelerzeuger lassen sich auf besonders effiziente Art und Weise bei gleichzeitig geringem Druckabfall innerhalb des Strömungsmediums Stoff- und Energieströme erzeugen und/oder verstärken, beispielsweise beim Mischen von Brenngas und Luft in einem Verdichter oder bei der Kühlung thermisch besonders belasteter Bauteile. Daher wird der aktive Wirbelerzeuger vorteilhafterweise in einer Gasturbine eingesetzt.

Bezüglich des Verfahrens wird die genannte Aufgabe dadurch gelöst, dass ein oder mehrere in einem Strömungskanal angeordnete, zur Umströmung mit dem Strömungsmedium vorgesehene Profile durch einen äußeren Antrieb periodisch mit der Kreisfrequenz ω bewegt werden.

Neue Erkenntnisse im Rahmen des so genannten „Finiten Kantenwirbel Modells“ zeigen, wie es möglich ist, die Ausprägung von Widerstands- bzw. Vortriebscharakter einer Strömung um bewegte Profile, also die Richtung der Energieübertragung

zwischen Profil und Strömungsmedium, gezielt zu beeinflussen. Eine wichtige Kenngröße innerhalb dieses Modells ist der Quotient aus der über eine Bewegungsperiode des Profils gemittelten Strömungsgeschwindigkeit bezogen auf den mittleren Querschnitt des Profils und der maximalen Strömungsgeschwindigkeit an der Profilhinterkante. Vorteilhafterweise wird die Richtung der Energieübertragung zwischen bewegtem Profil und Strömungsmedium über diesen Quotienten eingestellt. Alternativ lässt sich die Richtung der Energieübertragung zwischen Profil und Strömungsmedium auch über das Produkt aus maximaler Strömungsgeschwindigkeit an der Profilhinterkante und der Längenausdehnung des umströmten Profils geteilt durch die kinematische Viskosität des Strömungsmediums einstellen.

15 In manchen technischen Anwendungen können sich Nachteile ergeben, wenn erzeugte Wirbel im Weiteren Verlauf der Strömung einen vergleichsweise hohen Grad an Turbulenz der Strömung hervorrufen. Vorteilhafterweise werden daher die erzeugten Wirbel stromabwärts von der Position im Strömungskanal, an der sie erzeugt wurden, ganz oder teilweise wieder vernichtet.

Wie Berechnungen im Rahmen des „Finite Kantenwirbel Modells“ ergeben haben, lassen sich durch den Einsatz aktiver Wirbelerzeuger besonders effizient und bei vergleichsweise geringen Druckabfall innerhalb des Strömungsmediums Stoff- und Energieströme erzeugen und/oder verstärken. Daher ist das Verfahren zur Erzeugung von Wirbeln durch aktive Wirbelerzeuger besonders geeignet für verschiedene technische Anwendungen, beispielsweise zum Transportieren oder Mischen von Strömungsmedien, zur Effizienzsteigerung von Gitterströmungen und zur Kühlung thermisch besonders belasteter Bauteile.

Die mit der Erfindung erzielten Vorteile bestehen insbesondere darin, dass durch die nunmehr vorgesehene Verwendung periodisch bewegter Wirbelerzeuger Wirbel mit vergleichsweise geringen energetischen Aufwand erzeugt werden können. Die peri-

odische Bewegung der Profile lässt sich dabei technisch vergleichsweise einfach durch die Verwendung eines äußeren mechanischen, elektrischen oder elektro-hydraulischen Antriebs umsetzen. Bei der Verwendung aktiver im Gegensatz zu der passiver Wirbelerzeuger lassen sich in einem Strömungsmedium Stoff- und Energieströme erzeugen und/oder wirkungsvoll verstärken bei gleichzeitig besonders geringen Druckverlusten innerhalb des Strömungsmediums. Der niedrige Druckverlust lässt sich dabei darauf zurückführen, dass aktive Wirbelerzeuger durch sehr geringe Widerstände gekennzeichnet sind.

Aktive Wirbelerzeuger haben aufgrund der erwähnten günstigen technischen Eigenschaften eine Vielzahl von Anwendungsmöglichkeiten. Durch die Verwendung aktiver Wirbelerzeuger kann beispielsweise die Gitterströmung im Verdichter einer Gasturbine effizienter gestaltet und der Clocking-Effekt verstärkt genutzt werden. Auch die Kühlung thermisch belasteter Bauteile kann durch aktive Wirbelerzeuger verbessert und somit Kühlluft eingespart werden. Des Weiteren ist durch die Verwendung aktiver Wirbelerzeuger eine gründlichere Mischung beispielsweise von Brenngas und Luft vor der Verbrennung zur Reduktion der NO_x-Emissionen möglich. Somit kann eine Erhöhung des Wirkungsgrades der Gasturbine und eine Reduktion ihrer Emissionen mit vergleichsweise geringem technischen Aufwand erzielt werden.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung wird anhand einer Zeichnung näher erläutert. Darin zeigen:

- FIG 1 ein von einem Strömungsmedium umströmtes Profil, an dessen Hinterkante ein Wirbel erzeugt wird,
- FIG 2 verschiedene Ausführungen einer ein oder mehrere Profile umfassenden Vorrichtung zur Erzeugung von Wirbeln in einem Strömungsmedium,

- FIG 3 eine Strecke zum Transport eines Strömungsmediums,
die eine Vorrichtung zur Erzeugung von Wirbeln um-
fasst,
- 5 FIG 4 eine weitere Strecke zum Transport eines Strömungs-
mediums,
- FIG 5 einen in die Ebene abgerollten zylindrischen
Schnitt durch eine Leitschaufel- und Laufschaufel-
reihe einer Gasturbine, der eine Vorrichtung zur
10 Erzeugung von Wirbeln vorgeschaltet ist,
- FIG 6 eine Vorrichtung zur Kühlung thermisch belasteter
Bauteile, und
- 15 FIG 7 eine Vorrichtung zum Mischen eines Strömungsmedi-
ums.

20 Gleiche Teile sind in allen Figuren mit denselben Bezugszei-
chen versehen.

FIG 1 zeigt eine Vorrichtung zur Erzeugung von Wirbeln mit
einem von einem Strömungsmedium S umströmten Profil 1, das
sich beispielsweise in einem in FIG 1 nicht dargestellten
25 Strömungskanal befinden kann. Die Strömungsrichtung des Strö-
mungsmediums S ist durch die Pfeile 2 in der Art von Stromli-
nien angedeutet. Das Profil 1 ist durch einen in FIG 1 nicht
dargestellten äußeren Antrieb bewegbar, wobei die Bewegung
sich im allgemeinen aus einer Verschiebung des Profils 1 um
30 eine Strecke x und einer Rotation des Profils 1 um einen Win-
kel ϕ zusammensetzt. Die Bewegung erfolgt periodisch mit ei-
ner Kreisfrequenz ω . Bei der Bewegung des Profils 1 relativ
zum Strömungsmedium S bilden sich während jeder Periode der
Bewegung zwei Wirbel an der Hinterkante 4 des Profils 1, die
35 unmittelbar nach ihrer Bildung wachsen, kurze Zeit an der
Hinterkante 4 haften und sich dann ablösen.

Die sich bildenden Wirbel lassen sich vergleichsweise realistisch mit Hilfe des „Finite Kantenwirbel Modells“ beschreiben. Im Rahmen dieses Modells werden sich an der Hinterkante 4 des Profils 1 bildende Wirbel nicht als ideale Wirbel, sondern als Wirbel mit scharf definiertem Radius und starr rotierendem Kern beschrieben. In FIG 1 ist ein solcher, so genannter „Finiter Kantenwirbel“ 6 dargestellt. Der Finite Kantenwirbel 6 wird unmittelbar nach seiner Bildung an der Hinterkante 4 des umströmten Profils 1 durch auf sein Zentrum zuströmendes Strömungsmedium S bis zu seinem Radius a aufgefüllt und in Rotation versetzt. Seine Rotationsgeschwindigkeit nimmt während der anschließenden „Haftungsphase“ weiter zu, wo der Finite Kantenwirbel 6 eine Netto-Durchströmung mit Strömungsmedium S erfährt und die Komponente der Strömung aus der Richtung der Hinterkante 4 bis zu einem maximalen Wert zunimmt. Der Finite Kantenwirbel 6 löst sich in dem Moment, in dem dieser maximale Wert erreicht ist, von der Hinterkante 4 ab. Während der Haftungsphase induziert die Rotation des Finiten Kantenwirbels 6 eine Tangentialströmung entlang der Profiloberfläche, die so genannte „Mantelströmung“. Die Mantelströmung tritt in Wechselwirkung mit dem anströmenden Strömungsmedium S, wobei ein orthogonales Kräftepaar, der Vortrieb V, angedeutet durch den Pfeil 8, und der Widerstand W, angedeutet durch den Pfeil 10, entsteht.

Der Charakter der Wechselwirkung zwischen Strömungsmedium S und Profil 1 hängt maßgeblich davon ab, welche der beiden Kräfte dominiert. Wie sowohl theoretische Untersuchungen im Rahmen des „Finite Kantenwirbel Modells“ als auch experimentelle Befunde zeigen, ist bei einer Bewegung des Profils 1 mit einer verhältnismäßig hohen Kreisfrequenz ω der Vortriebscharakter der Wechselwirkung dominierend und es wird Energie vom Profil 1 auf das Strömungsmedium S übertragen. Bei einer Bewegung mit niedriger Kreisfrequenz ω dagegen dominiert ihr Widerstandscharakter und die Energieübertragung erfolgt umgekehrt vom Strömungsmedium S auf das Profil 1.

Das verhältnismäßig einfache „Finite Kantenwirbel Modell“ erlaubt im Gegensatz zur klassischen Tragflügeltheorie die Beschreibung der Umströmung eines beschleunigt bewegten Profils 1. Somit macht es den gezielten Einsatz von aktiven Wirbelerzeugern, die also eine Anzahl von beschleunigt bewegten Profilen 1 umfassen, möglich. Ein beschleunigt bewegtes Profil 1 weist im Gegensatz zu einem starren einen erheblich geringeren dynamischen Widerstand auf. Mit anderen Worten: Ein bewegtes Profil 1 verursacht einen erheblich geringeren Druckverlust innerhalb des Strömungsmediums S als ein starres. Es lässt sich somit beispielsweise zum effizienten Transportieren oder Mischen von Strömungsmedien S einsetzen, wobei man aufgrund des geringen dynamischen Widerstandes des Profils 1 einen vergleichsweise hohen Durchsatz an Strömungsmedium bei gleichzeitig niedrigem Druckverlust erzielt.

Es sind verschiedene Arten der periodischen Bewegung des Profils 1 denkbar. FIG 2 zeigt verschiedene Möglichkeiten der periodischen Bewegung des Profils 1 relativ zum Strömungsmedium S. Das Strömungsmedium S durchströmt in der von dem Pfeil 2 angedeuteten Richtung einen Strömungskanal 12. Wie in FIG 2a dargestellt kann im Strömungsmedium S ein Finiter Kantenwirbel 6 erzeugt werden, indem ein Profil 1 in senkrecht zur Strömungsrichtung periodisch um eine Strecke x verschoben wird, also eine reine Translationsbewegung ausführt.

FIG 2b zeigt eine andere Möglichkeit der periodischen Bewegung des Profils 1, bei der das Profil 1 eine reine Rotationsbewegung um eine Drehachse 14 senkrecht zur Strömungsrichtung um einen Winkel ϕ ausführt. In technischen Anwendungen ist unter Umständen der Einsatz von Kombinationen von Translations- und Rotationsbewegungen vorteilhaft. Es können auch, wie in FIG 2c gezeigt, mehrere Profile 1 zur Erzeugung von Wirbeln eingesetzt werden. Mit einer Konstellation wie in FIG 2c, bei der ein Paar von Profilen 1 am Ausgang eines im Strömungskanal 12 angeordneten weiteren Strömungskanals 16 im Gegentakt oder Gleichtakt schwingt, lassen sich beispielsweise

se zwei im Strömungskanal 12 und im Weiteren Strömungskanal 16 strömende Strömungsmedien effizient vermischen und/oder transportieren. Bei einer solchen Anordnung lösen sich in jeder Schwingungsperiode der Profile 1 zwei Paare von Finiten Kantenwirbeln 6 von den Profilhinterkanten 4 ab und bilden einen so genannten Nachlauf 18 im Strömungskanal 12. FIG 2d zeigt eine Vorrichtung zum Erzeugern von Finiten Kantenwirbeln 6 ohne periodisch bewegte Komponenten. Wiederum ist hier innerhalb eines Strömungskanals 12 ein weiterer Strömungskanal 16 angeordnet, der mit einem Strömungsmedium S durchströmt wird. Allerdings durchströmt das Strömungsmedium S des Weiteren Strömungskanal 16 mit einer periodischen Variation seines Massenstromes m . Am Austritt 22 des Weiteren Strömungskanals bildet sich in jeder Periode ein Paar Finiten Kantenwirbel 6, das sich nach der Haftungsphase ablöst und im Strömungskanal 12 einen Nachlauf 18 bildet.

Wie Berechnungen im Rahmen des Finiten Kantenwirbel Modells ergeben haben, sollten die Profile 1 in ihrer Form und Dimensionierung gewissen Regeln folgen. Insbesondere sollten die Profile 1 eine möglichst lange, aber scharfe Hinterkante 4 aufweisen, so dass die maximale Strömungsgeschwindigkeit an der Hinterkante 4 möglichst hoch ist und der entstehende Finiten Kantenwirbel 6 einen vergleichsweise kleinen Radius aufweist. Eine harmonische Schwingungsform des Profils 1 ist dabei nicht in jedem Fall wünschenswert, um eine lange Haftungsphase des Finiten Kantenwirbels 6 und einen hohen Vortrieb zu erzielen. Je nach Anwendungsgebiet des Wirbelerzeugers müssen Schwingungsfrequenz und -amplitude, die Lage der Drehachse 14 bei einer Rotation und die allgemeine Form des Profils 1 so optimiert werden, dass mit möglichst geringem äußeren Antrieb und bei niedrigem Druckabfall eine optimale Energieübertragung zwischen Profil 1 und Strömungsmedium S stattfindet.

35

Aufgrund der günstigen Eigenschaften der Finiten Kantenwirbel 6 lässt sich ihre Erzeugung beispielsweise zum Transportieren

eines Strömungsmediums nutzen. FIG 3 zeigt eine Strecke zum Transport eines Strömungsmediums, die eine Vorrichtung zur Erzeugung von Finiten Kantenwirbeln 6 umfasst. Wie in FIG 3a zu erkennen ist, sind in einem Strömungskanal 12 mehrere, 5 beispielsweise drei, Profile 1 angeordnet, die eine periodische Bewegung im Gleichtakt ausführen. Die periodische Bewegung kann in einer Rotation um den Winkel ϕ um eine Drehachse 14 oder auch in einer Kombination der Rotation mit einer periodischen Verschiebung des Profils 1 bestehen. An den jeweiligen Hinterkanten 4 der im Gleichtakt schwingenden Profile 10 1 entstehen in jeder Periode jeweils zwei Finite Kantenwirbel 6. Die von den Profilen 1 durch die Wirbelbildung auf das Strömungsmedium S übertragene Energie wird für den Transport des Strömungsmediums S durch den Strömungskanal 12 genutzt. 15 Führen die Profile 1 eine reine Rotationsbewegung aus, können sie durch den in FIG 3b dargestellten äußeren Antrieb angetrieben werden. Die Profile 1 sind dazu im Bereich ihrer Hinterkante 4 an einer Verbindungsstange 23 angebracht, die über einen Gelenkhebel 24 mit einem Kurbelantrieb 26 verbunden 20 ist. Im Betriebsfall des Wirbelerzeugers bewegt der Kurbelantrieb 26 die Verbindungsstange 23 auf und ab und treibt somit die Rotation der Profile 1 um ihre jeweilige Drehachse 14 an.

Führen die Profile 1 dagegen eine Kombination aus Translations- und Rotationsbewegung aus, können sie durch den in 25 FIG 3c dargestellten äußeren Antrieb angetrieben werden. Die dargestellte Antriebsvorrichtung umfasst dazu eine Verbindungsstange 23, an denen das oder die Profile 1 in ihrem hinteren Bereich angebracht sind sowie eine weitere Verbindungsstange 30, die die Profile 1 in ihrem vorderen Bereich miteinander verbindet. Sowohl die Verbindungsstange 23 als auch 30 die weitere Verbindungsstange 30 führen im Betriebsfall der Vorrichtung eine periodische Bewegung in Aufwärts- und Abwärtsrichtung aus, die durch einen elektromagnetischen Antrieb 27 beziehungsweise über einen weiteren elektromagnetischen Antrieb 28 bewirkt wird. Um eine Rotation der Profile 1 35 um die Drehachse 14 zu erzielen, arbeiten der elektromagneti-

sche Antrieb 27 und der weitere elektromagnetische Antrieb 28 nicht gleichphasig. Stattdessen kann der elektromagnetische Antrieb 27 einen Phasenvorlauf um 90 Grad gegenüber dem weiteren elektromagnetischen Antrieb 28 aufweisen. Die Profile
5 12 führen somit eine Kombination aus einer Translationsbewegung um die Strecke x und einer Rotationsbewegung um den Winkel ϕ innerhalb des Strömungskanals 12 aus.

Durch den Einsatz der in FIG 3 dargestellten Vorrichtung
10 durch einen Strömungskanal 12 lässt sich das Strömungsmedium S besonders effizient durch einen Strömungskanal 12 transportieren. Wie Berechnungen im Rahmen des „Finite Kantenwirbel Modells“ ergeben haben, stellt die periodische Bewegung der Profile 1 nämlich sicher, dass besonders effizient Energie
15 von den Profilen 1 auf das Strömungsmedium S übertragen wird. Insbesondere lässt sich auf diese Weise der auf den Druckverlust bezogene Durchsatz an Strömungsmedium S durch den Strömungskanal 12 maximieren.

Für den effizienten Transport eines Strömungsmediums S durch einen Strömungskanal 12 sind auch im Gegentakt schwingende Profile 1 geeignet, wie sie in FIG 4 dargestellt sind. FIG 4a zeigt eine alternative Strecke zum effizienten Transportieren eines Strömungsmediums S. Innerhalb eines Strömungskanals 12
25 ist ein weiterer Strömungskanal 16 beispielsweise konzentrisch angeordnet, an dessen Austritt ein Paar Profile 1 angeordnet ist, die jeweils periodische Rotationsbewegungen ausführen. Sie schwingen dazu im Gegentakt, also mit einer Phasenverschiebung von 180 Grad und erzeugen an ihrer Hinterkante 4 pro Periode jeweils zwei Finite Kantenwirbel 6, die
30 sich nach ihrer Haftungsphase von den Hinterkanten 4 ablösen und im Strömungskanal 12 einen Nachlauf 18 erzeugen. In technischen Anwendungen kann es beispielsweise zur Nutzung der Nachlauf-Restenergie günstig sein, die abgelösten Wirbel ganz
35 oder teilweise wieder zu vernichten. Dazu kann den Profilen 1 strömungsmediumseitig ein in FIG 4 nicht dargestellter Wirbelvernichter nachgeschaltet sein.

FIG 4b zeigt einen zum Betreiben des in FIG 4a dargestellten Wirbelerzeugers geeigneten Antrieb. Dazu umfasst der Antrieb einen elektromagnetischen Antrieb 27, der einen hydraulisch arbeitenden Arbeitszylinder 32 ansteuert, und zwei Gelenkhebel 24, die an den Profilen 1 angebracht sind und über ihre durch den Arbeitszylinder 32 hervorgerufene Bewegung eine Rotation der Profile 1 um ihre jeweilige Drehachse 14 bewirkt.

10 Außer zum effizienten Transport eines Strömungsmediums können aktive Wirbelerzeuger auch in verschiedenen anderen technischen Bereichen zur Anwendung kommen. FIG 5 stellt das Prinzip der Anwendung von aktiven Wirbelerzeugern zur Effizienzsteigerung einer Gitterströmung dar. Dazu wird einem axialen
15 Gitter, in FIG 5a dargestellt durch einen zylindrischen, in die Ebene abgerollten Schnitt, eine Anzahl von aktiven Wirbelerzeugern vorgeschaltet. FIG 5a zeigt eine Anzahl von Leitschaufeln 34 umfassende Leitschaufelreihe 33 einer Gasturbine, der strömungsmediumseitig eine Anzahl von Lauf-
20 schaufeln 36 umfassende Laufschaufelreihe 35 nachgeschaltet ist. Die Leitschaufelreihe 34 und die Laufschaufelreihe 36 sind in einem nicht näher dargestellten Strömungskanal angeordnet, der vom Strömungsmedium S in der von dem Pfeil 2 angedeuteten Richtung durchströmt wird. Der Leitschaufelreihe
25 34 ist eine Wirbelerzeugerreihe 38 strömungsmediumseitig vorgeschaltet, die eine Anzahl von Profilen 1 umfasst. Die Profile 1 sind so ausgelegt, dass sie von einem äußeren Antrieb um ihre jeweilige Drehachse 14 rotiert werden. Während einer vollständigen Schwingungsperiode der Profile 1 erzeugt jedes
30 Profil 1 an seiner Hinterkante 4 zwei Finite Kantenwirbel 6, die sich nach der Haftungsphase ablösen und sich auf der durch den Pfeil 40 angedeuteten Bahn durch den Strömungskanal bewegen. Die Finiten Kantenwirbel 6 bewegen sich durch die von den Profilen 1 auf sie übertragene Energie auf ihrer Bahn
35 um die Leitschaufeln 34 herum und treffen auf die den Leitschaufeln 34 strömungsmediumseitig nachgeschalteten Laufschaufeln 36, an die sie ihre Energie abgeben. Die auf diese

Weise erzeugten Strömungspulse steigern die Effizienz der Gitterströmung unter anderem durch die Nutzung des noch nicht vollständig verstandenen so genannten „Clocking-Effektes“, eines Effektes, der auf der aerodynamischen Wechselwirkung verschiedener Gitter miteinander beruht und der zum Tragen kommt, wenn die Gitter eine genau definierte Position zueinander einnehmen. Der bereits bei der Positionierung der Leit-
5 schaufeln 34 relativ zu den Laufschaufeln 36 genutzte Clocking-Effekt wird durch die Erzeugung von in Dauer und Frequenz zur Bewegung der Laufschaufeln 36 passend erzeugten Strömungspulsen durch die Profile 1 weiter verstärkt. Er erhöht die Effizienz der Gitterströmung messbar und kann somit zur Effizienzsteigerung beispielsweise einer Gasturbine und damit zur Senkung ihrer Emissionen beitragen.

15 In FIG 5b ist ein möglicher Antrieb für die in FIG 5a dargestellten Profile 1 gezeigt. Die Profile 1 sind im Bereich ihrer Hinterkante 4 auf einer gemeinsamen Verbindungsstange 23 angebracht und in ihrem vorderen Bereich auf einer weiteren Verbindungsstange 30 um ihre jeweilige Drehachse 14 drehbar
20 gelagert. Im Betriebsfall des Wirbelerzeugers bewegt der elektromagnetische Antrieb 27 über den hydraulisch arbeitenden Arbeitszylinder 32 die Verbindungsstange 23 nach oben bzw. nach unten. Es resultiert eine gleichphasige Drehung der
25 Profile 1 um ihre jeweilige Drehachse 14.

Der Wärme- und Stoffaustausch in einem Strömungsmedium quer zu seiner Strömungsrichtung kann durch dem Strömungsmedium aufgeprägte Geschwindigkeitsfluktuationen erheblich erhöht
30 werden. Solche Geschwindigkeitsfluktuationen lassen sich besonders einfach und mit vergleichsweise geringem Druckverlust im Strömungsmedium durch den Einsatz aktiver Wirbelerzeuger aufprägen. FIG 6 zeigt eine Anordnung, in der von den Profilen 1 erzeugte Finite Kantenwirbel 6 zur Kühlung thermisch
35 besonders belasteter Bauteile genutzt werden können. Dazu ist in einem Strömungskanal 12 beispielsweise einer Gasturbine eine Anzahl von Profilen 1, beispielsweise drei Profile 1,

auf einer gemeinsamen Verbindungsstange 23 angeordnet. Die Verbindungsstange 23 kann durch einen äußeren Antrieb in die durch den Pfeil 42 angedeutete Richtung periodisch aufwärts und anschließend wieder abwärts bewegt werden. Der Antrieb
5 der Verbindungsstange 23 kann dabei mechanisch wie in FIG 6a oder alternativ dazu elektromagnetisch wie in FIG 6b erfolgen. Die Profile 1 führen im Betriebsfall aufgrund des äußeren Antriebs eine Translationsbewegung um die Strecke x innerhalb des Strömungskanals 12 aus und prägen dem Strömungs-
10 medium S dadurch das Geschwindigkeitsprofil p auf. Die an den bewegten Hinterkanten 4 der Profile 1 entstehenden und sich von den Profilen 1 ablösenden Finiten Kantenwirbel 6 wiederum prägen dem Geschwindigkeitsprofil p periodische Geschwindigkeitsfluktuationen auf, die den Wärmeaustausch quer zur Strömungsrichtung erheblich erhöhen und somit zur erwünschten
15 Verbesserung der Kühlung der Wand 44 beitragen. Insbesondere ist die Verbesserung der Kühlungswirkung der Strömung auf die stromauf Verschiebung des laminar-turbulenten Umschlagpunktes der Strömung durch den Einsatz des Wirbelerzeugers zurückzuführen. Dadurch wird der Wärmeübergangskoeffizient deutlich
20 erhöht und die Kühlwirkung verbessert. Somit kann bei einer gleichen Temperatur der Wand 44 Strömungsmedium S eingespart oder bei gleichem Aufwand an Strömungsmedium S eine Leistungs- und Wirkungsgraderhöhung der Gasturbine erzielt werden.
25

Der durch den Einsatz eines Wirbelerzeugers erhöhte Stoffaustausch quer zur Strömungsrichtung kann auch zum Mischen von Strömungsmedien miteinander genutzt werden. Dazu ist wie in
30 FIG 7a dargestellt in einem von einem Strömungsmedium S in der Richtung des Pfeils 2 durchströmten Strömungskanal 12 ein Profil 1 abgeordnet, das durch einen äußeren Antrieb periodisch bewegt wird. Dabei erfolgt der Antrieb, wie in FIG 7b dargestellt, mechanisch über eine Kurbelschleife. Das sich
35 periodisch bewegendes Profil 1 erzeugt während jeder Periode zwei Finite Kantenwirbel 4, die an seiner Hinterkante 4 entstehen und sich nach der Haftungsphase ablösen. Die auf diese

Weise gezielt erzeugten Turbulenzen stellen eine effiziente Mischung des Strömungsmediums S sicher, das beispielsweise aus mehreren Komponenten wie Luft und Brenngas oder leichtem Heizöl und Wasser bestehen kann, die miteinander vermischt werden sollen. Im Falle einer Gasturbine lässt sich durch die besonders gründliche Vermischung von Brenngas und Luft eine vollständige Verbrennung des Brenngases und damit eine Senkung der NO_x-Emissionen der Gasturbine erzielen. Dem Profil 1 zur Erzeugung von Wirbeln kann strömungsmediumseitig ein in FIG 7 nicht dargestelltes Profil zur Vernichtung von Wirbeln nachgeschaltet sein, falls eine turbulente Strömung im Weiteren Verlauf nicht erwünscht ist.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Erzeugung und/oder Vernichtung von Wirbeln in einem Strömungsmedium (S), die ein oder mehrere in
5 einem Strömungskanal (12) angeordnete, zur Umströmung mit dem Strömungsmedium (S) vorgesehene Profile (1) umfasst, wobei die Profile (1) für eine periodische Bewegung relativ zum Strömungsmedium (S) mit einer Kreisfrequenz ω mit einem äußeren Antrieb versehen sind.
- 10 2. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei die Form und Größe der Profile (1) derart gewählt sind, dass im Betriebsfall der Quotient aus der über eine Bewegungsperiode des Profils (1) gemittelten Strömungsgeschwindigkeit bezogen auf den mittleren Querschnitt des Profils (1) zu der maximalen Strömungsgeschwindigkeit an der Profilhinterkante (4) einen vorgegebenen Wert aufweist.
- 15 3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, bei der als periodische Bewegung eine Schwenkbewegung der Profile (1) durch Rotation der Profile (1) um eine Drehachse (14) senkrecht zur Strömungsrichtung des Strömungsmediums (S) um einen Winkel ϕ vorgesehen ist.
- 20 4. Vorrichtung nach Anspruch 3, wobei im Strömungskanal (12) zwei Profile (1) angeordnet sind, die um mit gleicher Kreisfrequenz ω und gleicher Phase um ihre jeweilige Drehachse (14) rotieren, wobei die Drehachsen (14) antiparallel zueinander ausgerichtet sind.
- 30 5. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, bei der die periodische Bewegung in einer periodischen Verschiebung der Profile (1) senkrecht zu einer Strömungsrichtung des Strömungsmediums (S) besteht.

6. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, bei der die periodische Bewegung in einer periodischen Verschiebung der Profile (1) parallel zur Strömungsrichtung des Strömungsmediums (S) besteht.

5

7. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, bei der die periodische Bewegung in einer Kombination aus einer Verschiebung des Profils (1) relativ zum Strömungskanal (12) und einer Rotation des Profils (1) um eine Drehachse (14) besteht.

10

8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, der strömungsmediumseitig eine Vorrichtung zur Vernichtung von Wirbeln nachgeschaltet ist.

15

9. Förderstrecke zum Transport eines Strömungsmediums (S), in deren Strömungskanal (12) eine Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8 angeordnet ist, die eine Anzahl von Profilen (1), die eine periodische Bewegung mit gleicher Kreisfrequenz ω und gleicher Phase ausführen, umfasst.

20

10. Förderstrecke zum Transport eines Strömungsmediums (S), in deren Strömungskanal (12) eine Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8 angeordnet ist, die eine Anzahl von Profilen (1), die eine periodische Bewegung mit gleicher Kreisfrequenz ω und entgegengesetzter Phase ausführen, umfasst.

25

11. Axiales Gitter zur Durchströmung eines Strömungsmediums (S), dem eine Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8 strömungsmediumseitig vorgeschaltet ist, die eine Anzahl von Profilen (1), die eine periodische Bewegung mit gleicher Kreisfrequenz ω und gleicher Phase ausführen, umfasst.

30

12. Kühlvorrichtung zum Kühlen thermisch belasteter Bauteile, die einen Strömungskanal (12), einen durch den Strömungskanal (12) geleiteten Kühlstrom sowie eine innerhalb des Strömungskanals (12) angeordnete Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8 umfasst.

35

13. Mischstrecke zum Mischen eines oder mehrerer Strömungsme-
dien (S) miteinander, die einen von den Strömungsmedien (S)
durchströmbaren Strömungskanal (12) sowie eine Vorrichtung
5 nach einem der Ansprüche 1 bis 8 umfasst.

14. Gasturbine mit einer Vorrichtung nach einem der Ansprüche
1 bis 13.

10 15. Verfahren zur Erzeugung von Wirbeln in einem Strömungsme-
dium (S) durch ein oder eine Anzahl von in einem Strömungskan-
nal (12) angeordneter, zur Umströmung mit dem Strömungsmedium
(S) vorgesehener Profile (1), wobei die Profile (1) durch ei-
nen äußeren Antrieb periodisch mit der Kreisfrequenz ω be-
15 wegt werden.

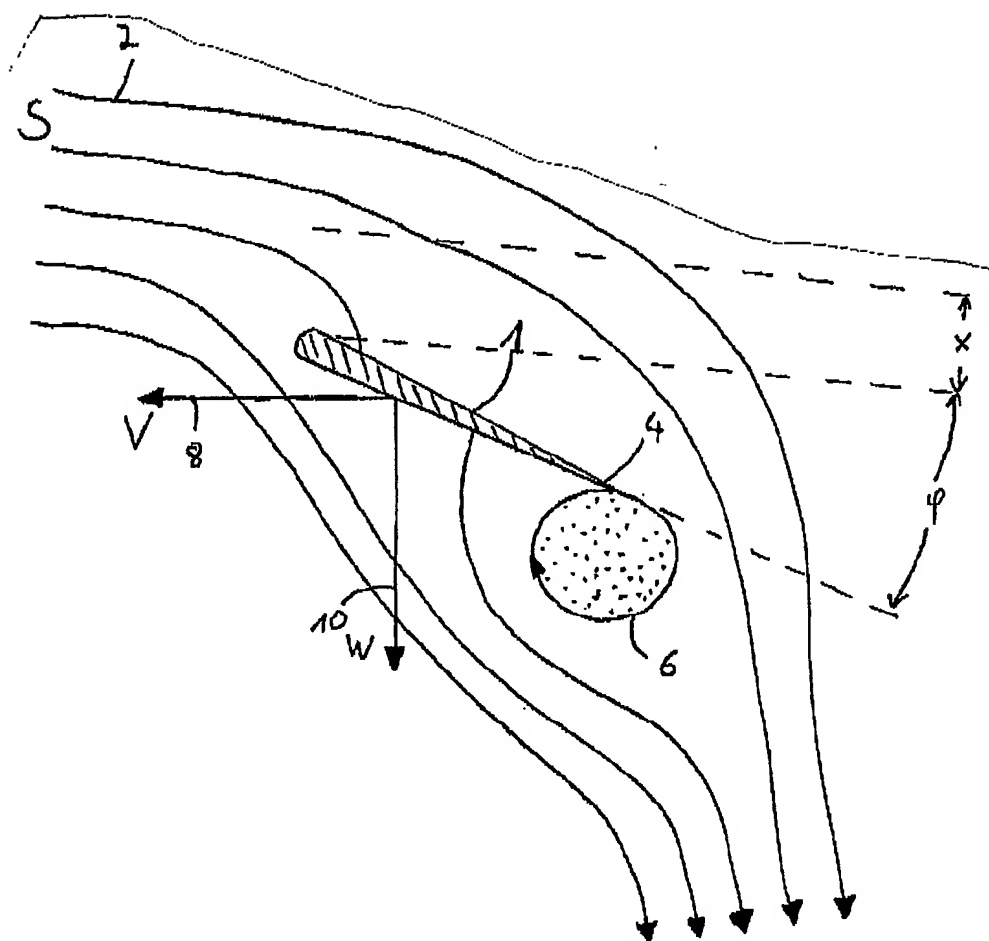
16. Verfahren nach Anspruch 15, bei dem die Richtung der
Energieübertragung zwischen bewegtem Profil (1) und Strö-
mungsmedium (S) über den Quotienten aus der über eine Bewe-
20 gungsperiode des Profils (1) gemittelten Strömungsgeschwin-
digkeit bezogen auf den mittleren Querschnitt des Profils (1)
und der maximalen Strömungsgeschwindigkeit an der Hinterkante
(4) des Profils (1) eingestellt wird.

25 17. Verfahren nach Anspruch 15, bei dem die Richtung der
Energieübertragung zwischen Profil (1) und Strömungsmedium
(S) über das Produkt aus maximaler Strömungsgeschwindigkeit
an der Hinterkante (4) des Profils (1) und der Längenausdeh-
nung des umströmten Profils (1) geteilt durch die kinemati-
30 sche Viskosität des Strömungsmediums (S) eingestellt wird.

18. Verfahren nach einem der Ansprüche 15 bis 17, bei dem die
erzeugten Wirbel stromabwärts von der Position im Strömungs-
kanal (12), an der sie erzeugt wurden, ganz oder teilweise
35 wieder vernichtet werden.

19. Verfahren nach einem der Ansprüche 15 bis 18, das zum Transport eines Strömungsmediums (S) durch einen Strömungskanal (12) eingesetzt wird.
- 5 20. Verfahren nach einem der Ansprüche 15 bis 18, das zur Effizienzsteigerung einer Gitterströmung des Strömungsmediums (S) durch ein innerhalb des Strömungskanals (12) angeordnetes Gitter eingesetzt wird.
- 10 21. Verfahren nach einem der Ansprüche 15 bis 18, das zur Kühlung thermisch belasteter Bauteile durch ein Strömungsmedium (S) eingesetzt wird.
- 15 22. Verfahren nach einem der Ansprüche 15 bis 18, das zum Mischen eines oder mehrerer Strömungsmedien (S) in einem Strömungskanal (12) eingesetzt wird.

FIG 1



2/7

FIG 2

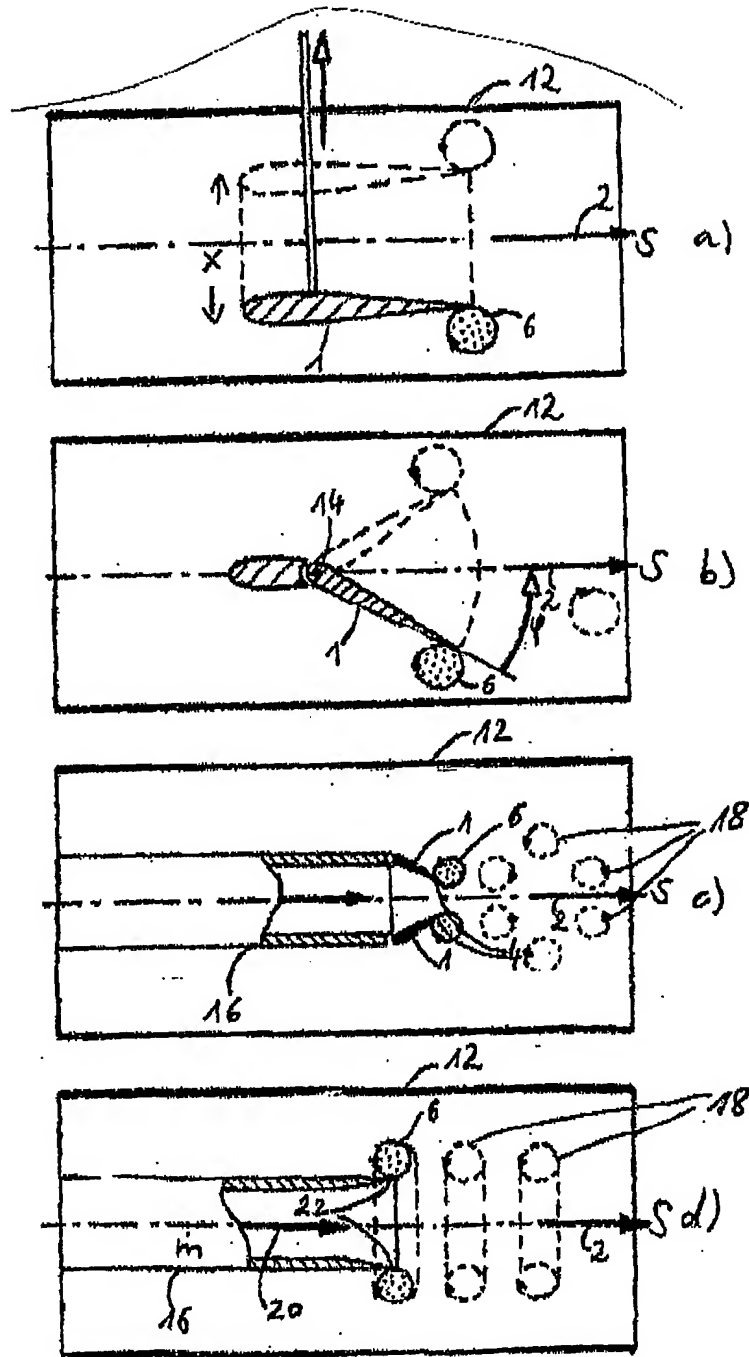


FIG 3

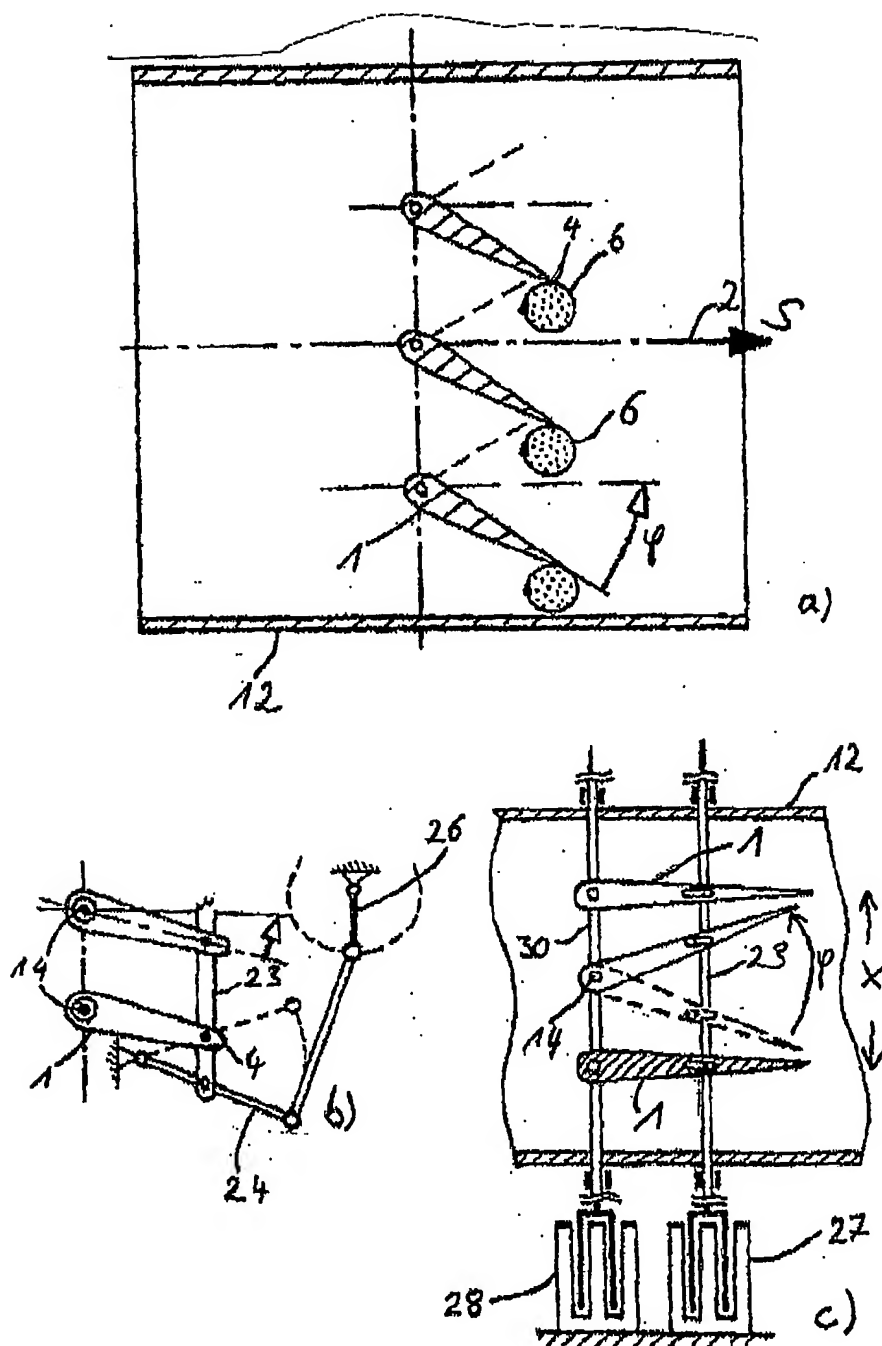
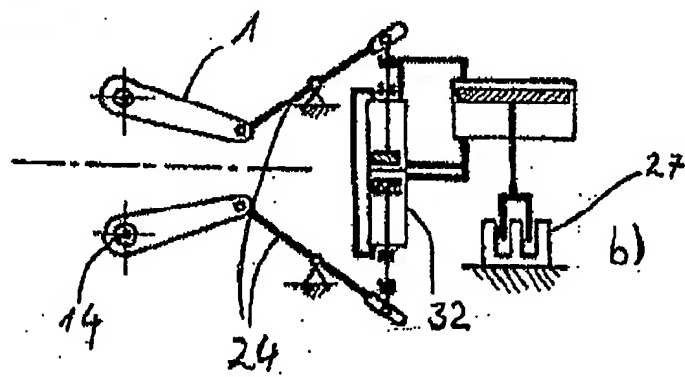
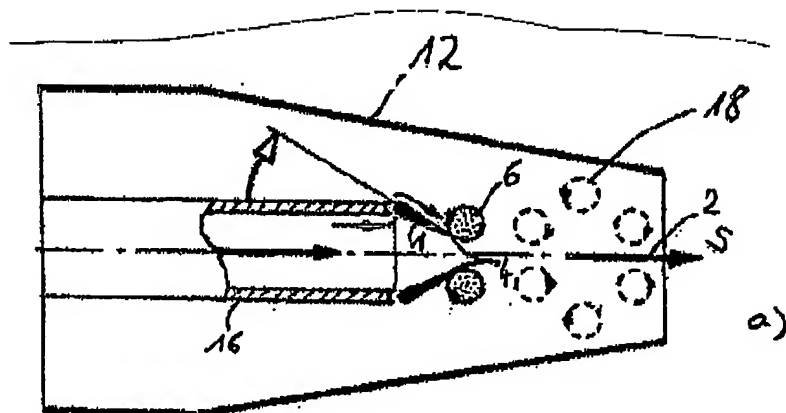
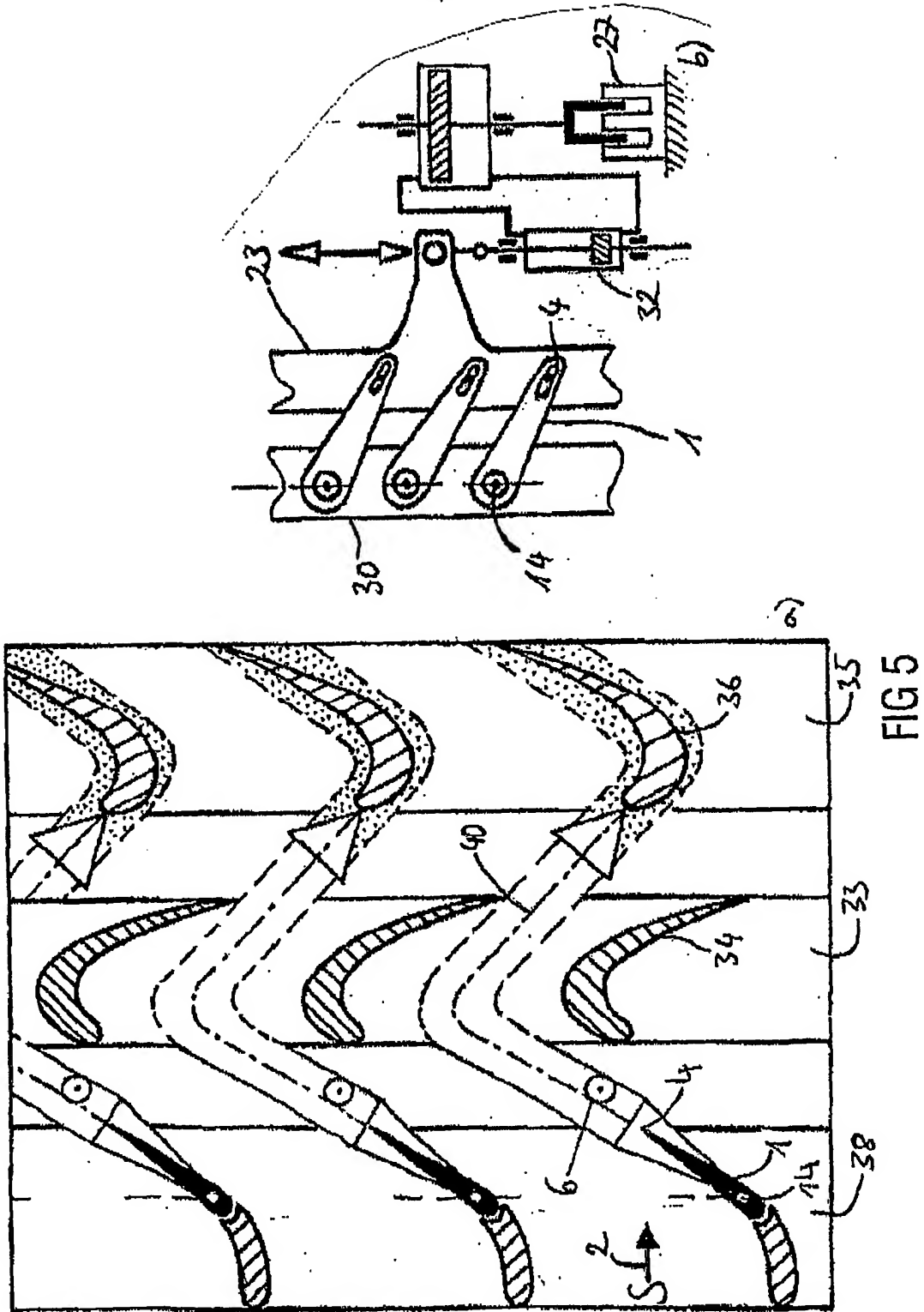


FIG 4



5/7



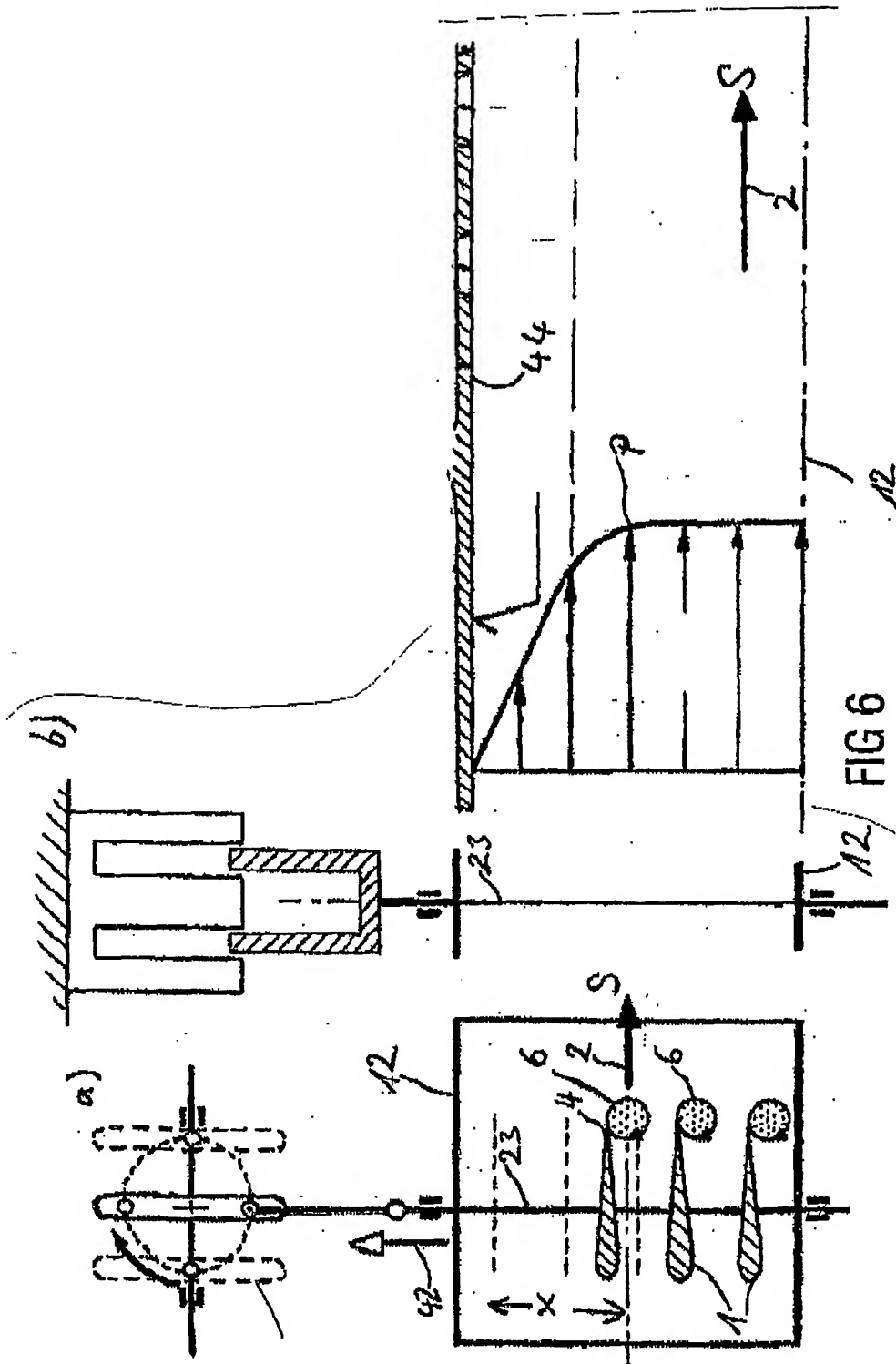


FIG 7a

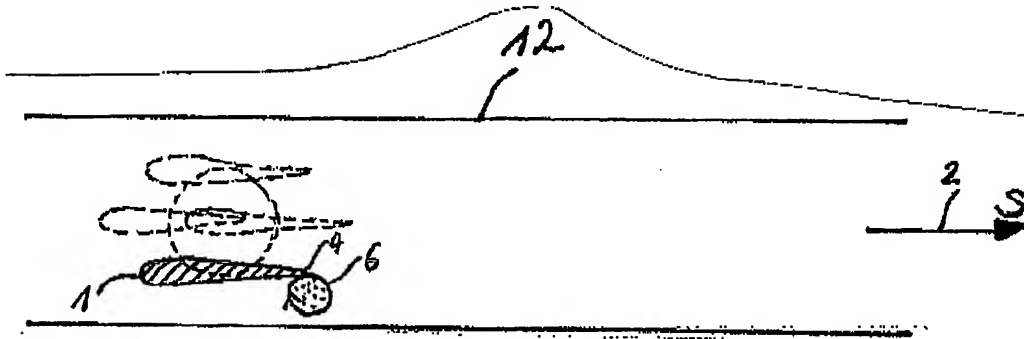
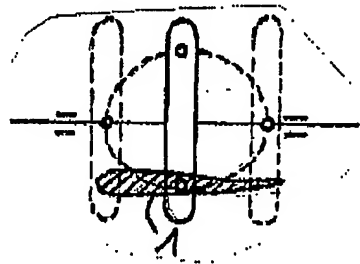


FIG 7b



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.

PCT/DE 03/02721

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 F15D1/02 F01D5/14 B01F5/06

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 F15D F01D B01F F23D

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	CH 652 452 A (SNEEK LANDUSTRIE) 15 November 1985 (1985-11-15) page 3, left-hand column, line 44-51 page 3, right-hand column, line 59-63; figures 1,2	1,3,13, 15,19,22
X	US 5 525 269 A (CONNOLLY JOHN R ET AL) 11 June 1996 (1996-06-11)	1,2,7, 13-15, 19,22
Y	column 2, line 10-35; figure 1	8,12
X	DD 215 155 B (ZITTAU ING HOCHSCHULE) 31 October 1984 (1984-10-31)	15,18, 20,21
Y	(Abschnitt "Darlegung des Wesens der Erfindung") page 2, line 15 -page 3, line 15; figures 1,3.	12
A	---	1,2,7,11
	--- -/-	

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

A document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

E earlier document but published on or after the international filing date

L document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

O document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

P document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

T later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

X document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

Y document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

Z document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

10 December 2003

Date of mailing of the international search report

18/12/2003

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Rechenmacher, M

Rec'd PCT/PTO 04 FEB 2005

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/DE 03/02721

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	DE 33 43 296 A (MAHR SOEHNE GMBH THEO)	8
A	5 June 1985 (1985-06-05) page 10, line 7-21 page 11, line 15-20 page 12, line 1-6; figures 1,2 -----	1-3, 11
A	GB 763 359 A (LUCAS INDUSTRIES LTD) 12 December 1956 (1956-12-12) page 1, line 75-82 -----	1, 14

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No.

PCT/DE 03/02721

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
CH 652452	A	15-11-1985	CH 652452 A5 AT 387955 B	15-11-1985 10-04-1989
US 5525269	A	11-06-1996	NONE	
DD 215155	B	31-10-1984	DD 215155 A1	31-10-1984
DE 3343296	A	05-06-1985	DE 3343296 A1	05-06-1985
GB 763359	A	12-12-1956	CH 330988 A DE 1006215 B FR 1122874 A	30-06-1958 11-04-1957 13-09-1956

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 03/02721

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 IPK 7 F15D1/02 F01D5/14 B01F5/06

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 F15D F01D B01F F23D

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der Internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	CH 652 452 A (SNEEK LANDUSTRIE) 15. November 1985 (1985-11-15) Seite 3, linke Spalte, Zeile 44-51 Seite 3, rechte Spalte, Zeile 59-63; Abbildungen 1,2	1,3,13, 15,19,22
X	US 5 525 269 A (CONNOLLY JOHN R ET AL) 11. Juni 1996 (1996-06-11)	1,2,7, 13-15, 19,22
Y	Spalte 2, Zeile 10-35; Abbildung 1	8,12
X	DD 215 155 B (ZITTAU ING HOCHSCHULE) 31. Oktober 1984 (1984-10-31)	15,18, 20,21
Y	(Abschnitt "Darlegung des Wesens der Erfindung") Seite 2, Zeile 15 -Seite 3, Zeile 15; Abbildungen 1,3	12
A	---	1,2,7,11

	-/-	

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

E älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

L Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

O Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

P Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

Z Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der Internationalen Recherche

10. Dezember 2003

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

18/12/2003

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Beauftragter

Rechenmacher, M

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	DE 33 43 296 A (MAHR SOEHNE GMBH THEO)	8
A	5. Juni 1985 (1985-06-05)	
	Seite 10, Zeile 7-21	1-3,11
	Seite 11, Zeile 15-20	
	Seite 12, Zeile 1-6; Abbildungen 1,2	

A	GB 763 359 A (LUCAS INDUSTRIES LTD)	1,14
	12. Dezember 1956 (1956-12-12)	
	Seite 1, Zeile 75-82	

INTERNATIONAL RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 03/02721

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
CH 652452 A	15-11-1985	CH 652452 A5 AT 387955 B	15-11-1985 10-04-1989
US 5525269 A	11-06-1996	KEINE	
DD 215155 B	31-10-1984	DD 215155 A1	31-10-1984
DE 3343296 A	05-06-1985	DE 3343296 A1	05-06-1985
GB 763359 A	12-12-1956	CH 330988 A DE 1006215 B FR 1122874 A	30-06-1958 11-04-1957 13-09-1956